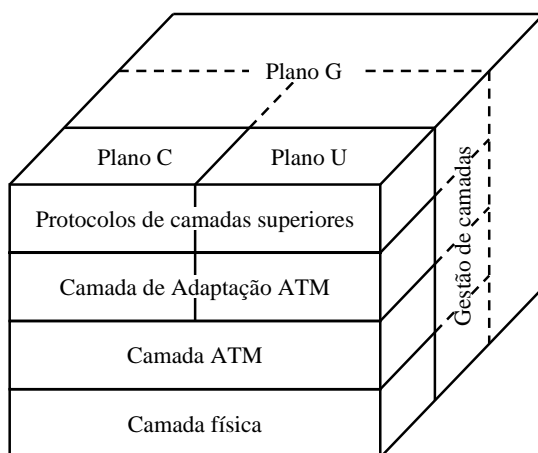
ATM – Asynchronous Transfer Mode

Arquitectura

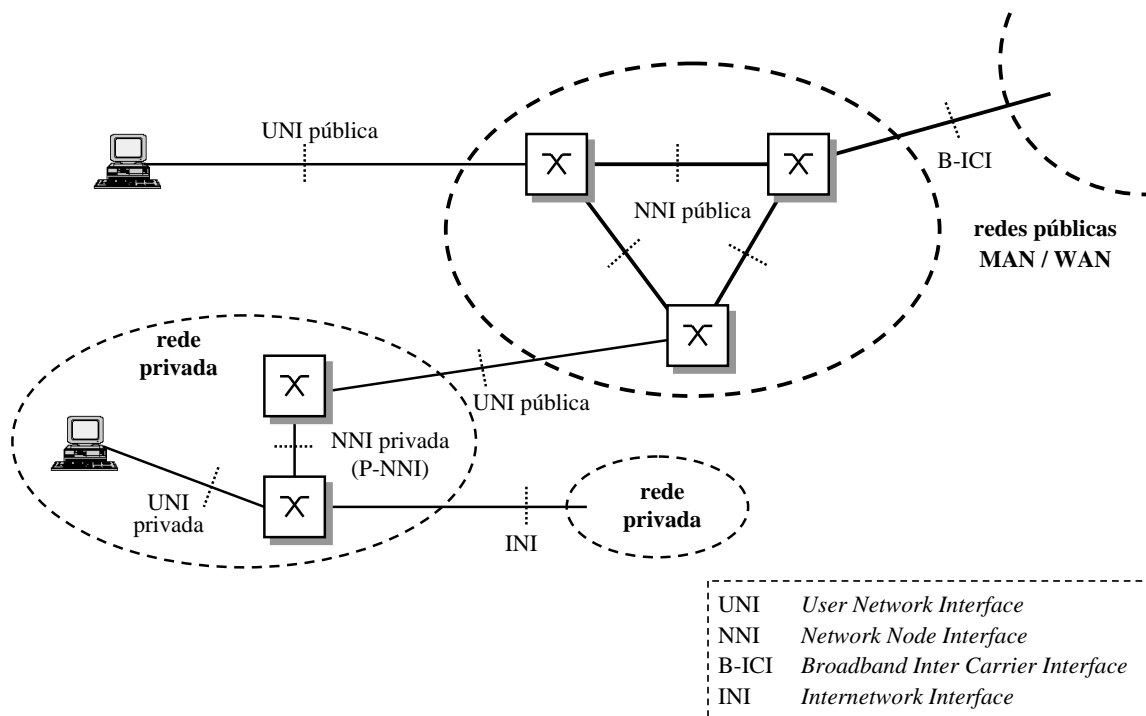
FEUP/DEEC
Redes de Banda Larga
MIEEC – 2009/10
José Ruela

ATM – Modelo Protocolar de Referência

Planos

- U Utilizador
  - Transferência de dados das aplicações
- C Controlo
  - Sinalização
  - Controlo de chamadas e conexões
- G Gestão
  - Gestão do sistema
  - Gestão de camadas
  - Operação e Manutenção (OAM)

Funções das camadas

Camadas		Funções
AAL *ATM Adaptation Layer*	CS *Convergence Sublayer*	• dependente do serviço
	SAR *Segmentation and Reassembly Sublayer*	• segmentação das unidades de dados de serviço em células e vice-versa
ATM *ATM Layer*		• controlo de fluxo genérico • extracção / geração dos cabeçalhos das células • tradução de indicadores de canal virtual (VPI/VCI) • multiplexagem / desmultiplexagem de células
PHY *Physical Layer*	TC *Transmission Convergence Sublayer*	• adaptação do débito do fluxo de células à capacidade do sistema de transmissão (*cell rate decoupling*) • geração / verificação do HEC (*Header Error Control*) • delineação de células • mapeamento de células na trama de transmissão • geração / recuperação da trama de transmissão
	PM *Physical Medium Sublayer*	• sincronização de bit e codificação • interface eléctrica / óptica dependente do meio físico

Interfaces de rede

Tipos de células

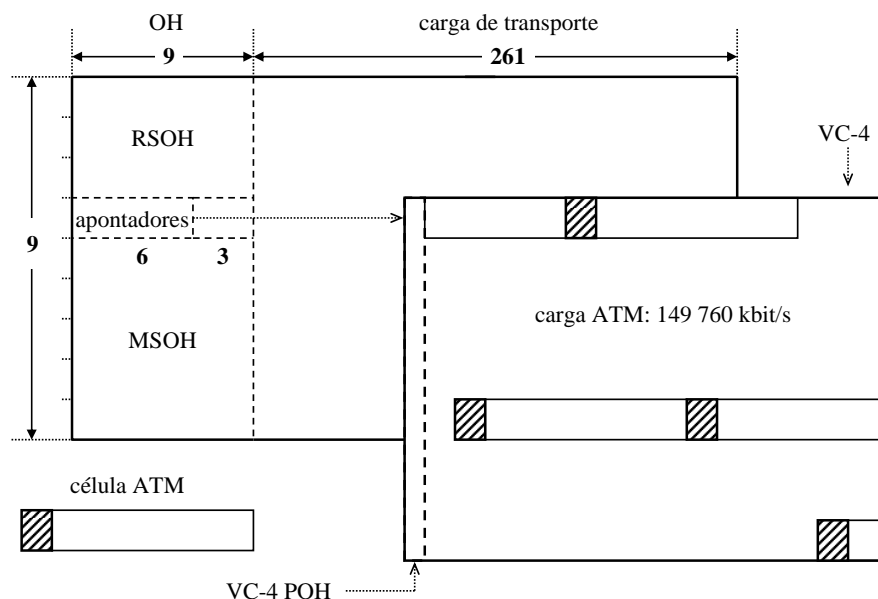
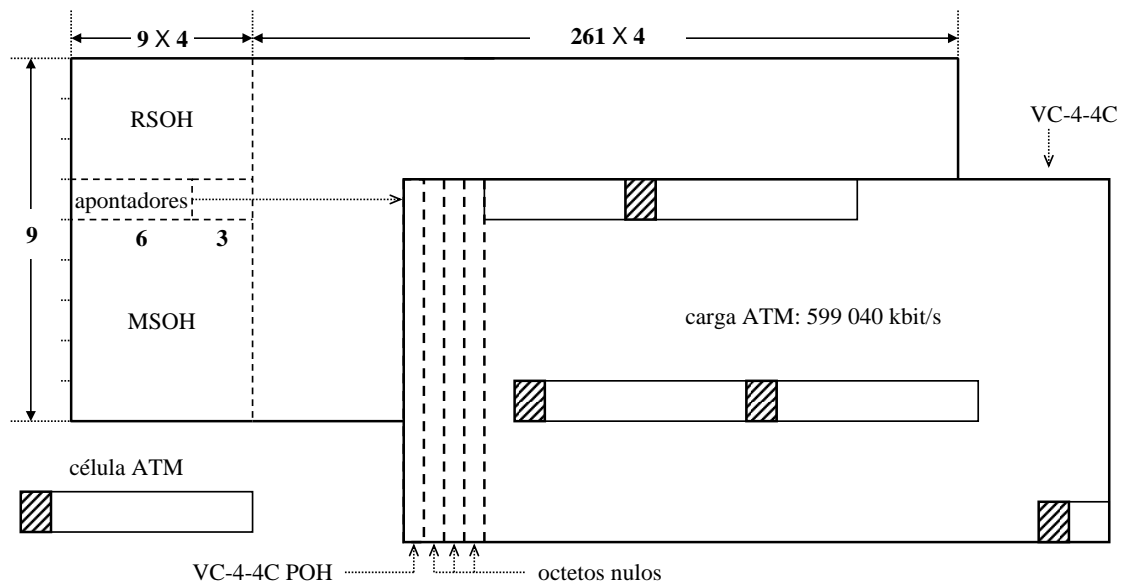
- Do ponto de vista da camada física as células designam-se por
  - Células vazias (*idle*) – células inseridas / extraídas pela camada física para adaptar o débito do fluxo de células à capacidade do sistema de transmissão (*cell rate decoupling*)
  - Células inválidas – células com erro(s) no cabeçalho, que não foi modificado pelo processo de controlo de erros (HEC), sendo descartadas
  - Células válidas – células cujo cabeçalho não tem erro ou foi modificado pelo processo de controlo de erros (HEC)
    - As células válidas podem pertencer à camada física (por exemplo, células OAM) ou à camada ATM (células de sinalização, OAM e de gestão de recursos, para além de células com dados do utilizador)
- Do ponto de vista da camada ATM as células designam-se por
  - Células atribuídas (*assigned*) – células que fornecem serviço a aplicações que usam o serviço da camada ATM
  - Células não atribuídas (*unassigned*) – células da camada ATM que não são células atribuídas (mas que são submetidas ao nível físico); garantem um fluxo contínuo de células na interface com a camada física

Adaptação ao sistema de transmissão

- O transporte de células ATM pode realizar-se usando diversas interfaces físicas, o que requer a especificação das respectivas funções de convergência (*transmission convergence sublayer*)
- No caso de sistemas que usam estruturas de transmissão baseadas em tramas (SDH/SONET, PDH), o fluxo de células é mapeado no *payload* das tramas, sendo também necessário realizar adaptação do débito à capacidade do sistema, bem como delineação de células
- Em alternativa, a transmissão pode consistir num fluxo (contínuo ou descontínuo) de células, sem recurso a qualquer estrutura (trama) – sistema baseado em células
- A adaptação do débito pode ser feita de dois modos
  - Inserção de células vazias (*idle*) pela camada física
  - Inserção de células não atribuídas (*unassigned*) pela camada ATM (neste caso, a interface entre a camada ATM e o sistema de transmissão providencia um sinal para geração de células ATM)

Interfaces a 155 520 kbit/s (UNI)

- Baseada em tramas (*frame based*)
  - Interface física: SDH/SONET
  - As células ATM são mapeadas no contentor virtual VC-4
  - Débito útil: 149 760 kbit/s (26/27 do débito total)
  - Fluxos OAM: transportados nos octetos OAM da estrutura (SOH e POH)
- Baseada em células (*cell based*)
  - Por razões de compatibilidade foi definida uma interface baseada em células com o mesmo débito total e o mesmo débito útil que no caso da transmissão baseada em tramas SDH/SONET
  - A estrutura de transmissão é baseada num fluxo contínuo de células, devendo garantir-se no mínimo uma célula da camada física por cada 27 células
    - A camada física deve gerar no máximo uma célula OAM por cada 27 células e no mínimo uma por cada 513
    - A inserção de células vazias (*idle*) ocorre em dois casos: se no momento de transmitir uma célula da camada física (uma em 27) não for possível gerar uma célula OAM ou para adaptação do débito (*cell rate decoupling*) quando não existir uma célula ATM disponível

Trama SDH a 155 520 kbit/s (UNI)

Trama SDH a 622 080 kbit/s (UNI)

Interface baseada em FDDI

- Interface privada a 100 Mbit/s baseada na interface física do FDDI
  - É usado o código 4B5B, explorando-se a utilização de alguns símbolos do código
- A transmissão é baseada em células, mas as células não são transmitidas necessariamente de forma contígua
  - Na ausência de células a transmitir, são inseridos símbolos JK entre células (11000 10001)
  - Cada célula é precedida por um octeto formado pelos símbolos TT (01101 01101)

Interface baseada em Fiber Channel

- Interface privada a 155.52 Mbit/s baseada na interface física do *Fiber Channel*
  - É usado o código 8B10B
- A transmissão é baseada numa trama constituída por 27 células e com um período de 73.61 μs
  - A primeira célula da trama tem um formato especial
    - Um delimitador constituído por 5 octetos, usados para sincronismo a nível de octeto e de trama (as células são alinhadas em relação à trama)
    - Um *payload* constituído por 48 octetos reservados para funções OAM da camada física
  - As restantes 26 células constituem o *payload* da trama com capacidade 149.76 Mbit/s, idêntica às das restantes interfaces a 155.52 Mbit/s
  - A adaptação de débito (*cell rate decoupling*) é realizada com células não atribuídas (*unassigned*) da camada ATM

Camada ATM

- As principais funções da camada ATM são a multiplexagem e a comutação de células de diferentes conexões virtuais
  - Células de uma mesma conexão transportam um identificador comum, que tem significado local em cada interface e que, por essa razão, é normalmente alterado no processo de comutação
  - O identificador de conexão é estruturado em duas partes
    - VPI – *Virtual Path Identifier*
    - VCI – *Virtual Channel Identifier*
- Células atribuídas (*assigned*) da camada ATM podem ser de vários tipos, sendo identificadas por combinações específicas de valores de VPI/VCI e PT
  - Células com dados de utilizador
  - Células de sinalização
  - Células OAM da camada ATM
  - Células de Gestão de Recursos

Cabeçalho das células ATM (UNI e NNI)

Payload Type

Bits

<u>4 3 2</u>

0 0 0 *User data cell, congestion not experienced*
ATM user-to-ATM-user indication = 0

0 0 1 *User data cell, congestion not experienced*
ATM-user-to-ATM-user indication = 1

0 1 0 *User data cell, congestion experienced*
ATM-user-to-ATM-user indication = 0

0 1 1 *User data cell, congestion experienced*
ATM-user-to-ATM-user indication = 1

1 0 0 *OAM F5 segment associated cell*

1 0 1 *OAM F5 end-to-end associated cell*

1 1 0 *Resource management cell*

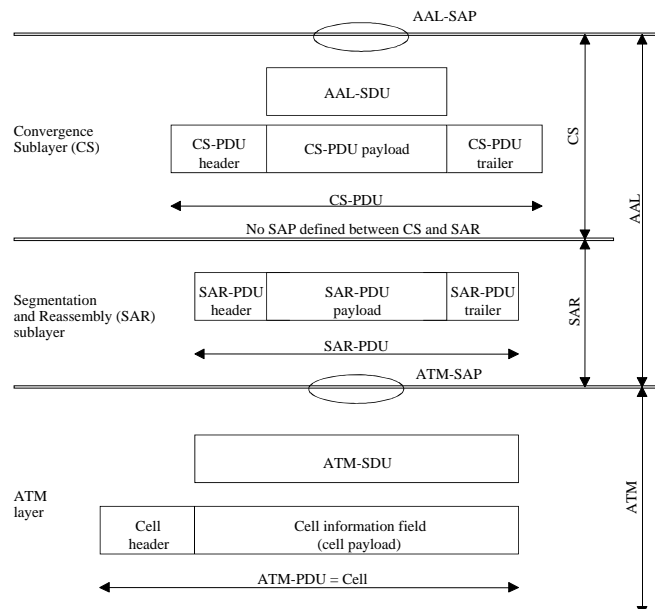
1 1 1 *Reserved for future VC functions*

Camada AAL – ATM Adaptation Layer

- A camada AAL acrescenta funcionalidade aos serviços fornecidos pela camada ATM, de forma a satisfazer diferentes requisitos das camadas superiores

- A diversidade de aplicações e respectivos requisitos determina a necessidade de diferentes protocolos AAL, que são realizados extremo-a-extremo, em *hosts* ATM ou em elementos de rede (*bridges* e *routers*) que usam ATM para comunicar entre si (e.g., IP sobre ATM e emulação de LANs em ATM)

- A camada AAL é dividida em duas sub-camadas
  - CS – *Convergence Sublayer*
  - SAR – *Segmentation and Reassembly Sublayer*

Estrutura das camadas AAL e ATM

Exemplos de funções da camada AAL

- Empacotamento / Desempacotamento (e.g., amostras de voz, áudio, vídeo)
- Fragmentação / Reassemblagem – SAR (e.g., pacotes de dados)
- Multiplexagem /Desmultiplexagem de fluxos AAL sobre uma conexão ATM
- Recuperação de erros extremo-a-extremo
- Extracção de relógio de serviço (e.g., emulação de circuitos)
- Eliminação do jitter do atraso (e.g., serviços de tempo real que requerem preservação da relação temporal entre fonte e destino)

AAL – classes de serviço

- O ITU-T propôs um modelo de classificação de serviços, baseado num grupo restrito de classes, com o objectivo de identificar protocolos AAL capazes de suportar os requisitos funcionais de cada classe
- A classificação baseou-se em três parâmetros
  - Relação temporal entre fonte e destino, com dois valores possíveis: Requerida / Não requerida
    - A manutenção da relação temporal entre fonte e destino é um requisito dos serviços de tempo real (transparência temporal)
  - Débito, com valores possíveis: constante / variável
  - Modo de conexão, com valores possíveis: orientado à conexão (*connection oriented*) / sem conexão (*connectionless*)
    - O modo *connectionless* está normalmente associado a serviços de dados que não requerem a reserva de recursos na rede e que, por isso, dispensam o estabelecimento de conexões
    - Este parâmetro acabou por revelar-se de interesse discutível do ponto de vista da especificação de protocolos AAL

AAL – classes de serviço

- Da combinação de valores dos três parâmetros seria possível definir oito classes, mas
  - Serviços de tempo real são tipicamente orientados à conexão
  - Serviços de dados sem requisitos de tempo real são tipicamente de débito variável
- Foram definidas quatro classes correspondentes às combinações mais usuais dos valores dos parâmetros

Parâmetro	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Relação temporal	Requerida	Requerida	Não requerida	Não requerida
Débito	Constante	Variável	Variável	Variável
Modo de conexão	Orientado à conexão	Orientado à conexão	Orientado à conexão	Sem conexão

Classes de serviço e protocolos AAL

- Considerou-se inicialmente a necessidade de especificar um tipo de protocolo por cada classe
  - Pode ser necessário especificar mais do que um protocolo por classe
  - Pode fazer sentido usar o mesmo protocolo em mais do que uma classe
- Previram-se protocolos AAL1, AAL2, AAL3 e AAL4 correspondentes às classes A, B, C e D
  - Inicialmente foram especificados protocolos AAL1, AAL3 e AAL4 e mais recentemente o protocolo AAL2
  - Os protocolos AAL3 e AAL4 acabaram por ser fundidos num único que passou a ser designado por AAL3/4, para uso das classes C e D
  - A complexidade do AAL3/4 justificou a especificação dum protocolo mais simples, designado AAL5, inicialmente previsto como alternativa a AAL3/4, mas que acabou por ter um âmbito de aplicação mais geral

Protocolos AAL

- AAL1 – o protocolo AAL1 é usado por serviços de classe A que requerem extracção do relógio de serviço na camada AAL (por exemplo, emulação de circuitos)

- AAL2 – o protocolo AAL2 é usado por alguns serviços de classe B que geram tráfego de baixo débito constituído por pacotes de pequeno comprimento e que beneficiam da multiplexagem de conexões AAL sobre uma conexão ATM

- AAL3/4 – o protocolo AAL3/4 é usado por serviços de dados (classes C e D); permite multiplexar fluxos de pacotes numa conexão ATM, intercalando fragmentos de pacotes diferentes (multiplexagem ao nível de célula)

- AAL5 – o protocolo AAL5 é usado por serviços de dados (classes C e D), de preferência a AAL3/4, e pode também ser usado por serviços de tempo real (classes A e B) que não requeiram extracção do relógio de serviço na camada AAL; é mais simples e eficiente do que AAL3/4, mas não permite intercalar fragmentos de diferentes pacotes na mesma conexão ATM (a multiplexagem é realizada ao nível de tramas AAL5 e não ao nível de célula)

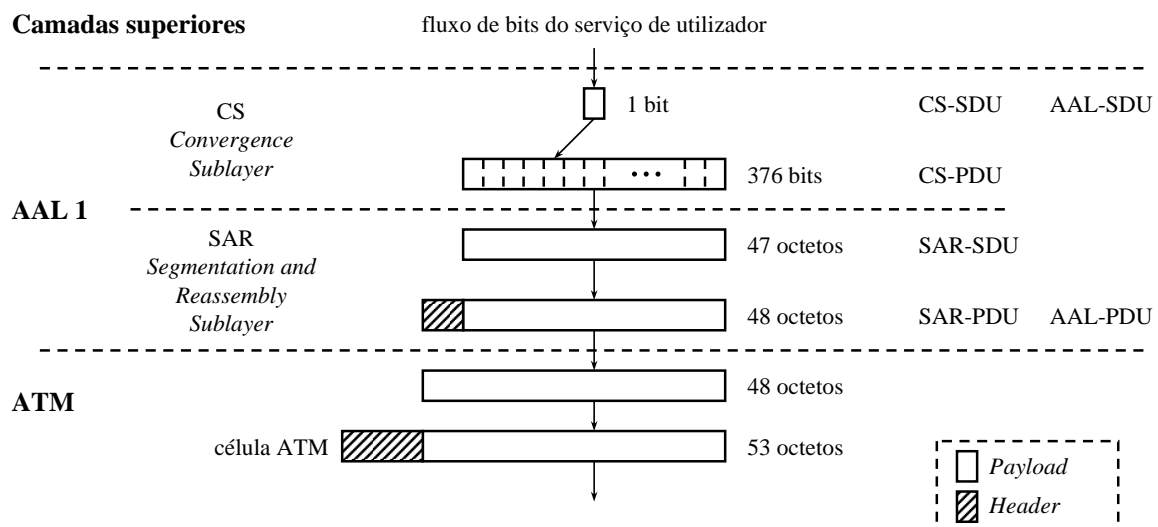
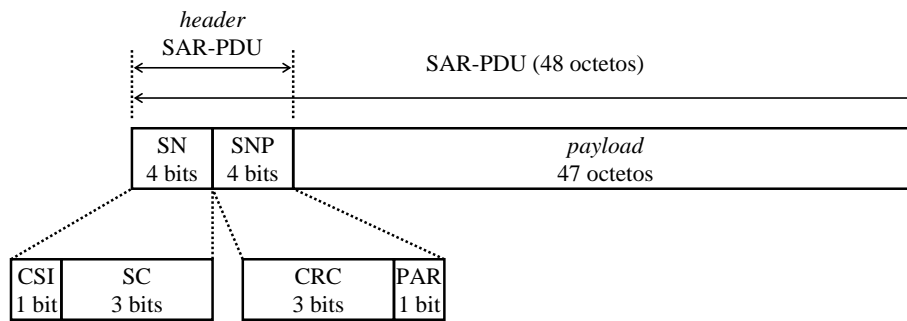
Categorias de Serviço

- O conceito de Categorias de Serviço foi introduzido com o objectivo de relacionar características de tráfego e requisitos de Qualidade de Serviço com o comportamento da rede, que é determinado pelos respectivos mecanismos de controlo de tráfego e pelas estratégias de reserva e atribuição de recursos
- As Categorias de Serviço não devem ser confundidas nem com as Classes de Serviço nem com os protocolos AAL
  - As Categorias de Serviço representam características de serviços oferecidos pela rede, em função da forma como os recursos são atribuídos às conexões
  - As Classes de Serviço e os protocolos AAL estão relacionados com as funções realizadas extremo-a-extremo (entre *end-systems* ATM) com o objectivo de satisfazer requisitos funcionais de serviços
  - A realização de determinadas funções na camada AAL (por exemplo a recuperação do sinal de relógio do serviço ou a compensação do *delay jitter*) pode, no entanto, requerer a negociação com a rede de uma Categoria de Serviço apropriada

AAL1 – funções

- Serviços disponibilizados pelo AAL1
  - Transferência de unidades de dados de serviço com um débito constante e entrega com o mesmo débito
  - Transferência de informação de temporização entre fonte e destinato
  - Transferência de informação de estrutura entre fonte e destinato
  - Indicação de informação errada ou perdida

- Funções do AAL1
  - Segmentação e reassemblagem de informação do utilizador
  - Empacotamento e desempacotamento de informação do utilizador (constituição de blocos de 47 octetos a partir do AAL-SDU)
  - Tratamento da variação do atraso de células (*cell delay variation*) e do atraso de empacotamento de células
  - Tratamento de células perdidas ou mal inseridas
  - Recuperação no receptor da frequência de relógio da fonte
  - Recuperação no receptor da estrutura de dados da fonte

AAL1 – exemplo de operação

AAL1 – SAR-PDU

SN	*Sequence Number*	CSI SC	*CS Indication* *Sequence Count*	informação específica da camada de convergência contador sequencial de SAR-PDUs enviadas
SNP	*Sequence Number Protection*	CRC PAR	*Cyclic Redundancy Check* *Parity*	protege o campo SN protege os campos SN e CRC

SC ímpar CSI transporta bits para recuperação de relógio (mecanismo *Residual Time Stamp*)

SC par CSI = 0 indica que o *payload* transporta 47 octetos com informação do utilizador (transmissão não estruturada)

CSI = 1 indica que a transmissão é estruturada; o *payload* do SAR-PDU transporta no primeiro octeto um apontador para o início da próxima mensagem, seguindo-se 46 octetos com informação do utilizador

AAL2 – objectivos e organização

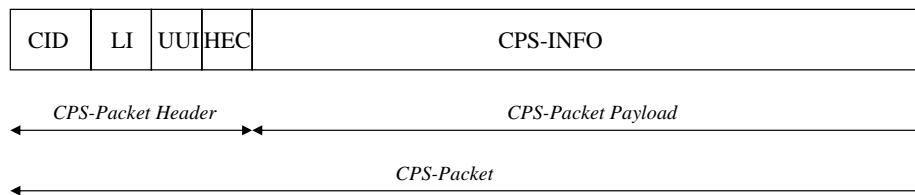
- O protocolo AAL2 foi especificado com o objectivo de permitir a transmissão eficiente de tráfego de aplicações sensíveis ao atraso caracterizadas por gerarem fluxos com débitos pequenos e variáveis, constituídos por pacotes pequenos e com comprimento variável

- O protocolo AAL2 suporta multiplexagem de várias conexões AAL numa única conexão ATM

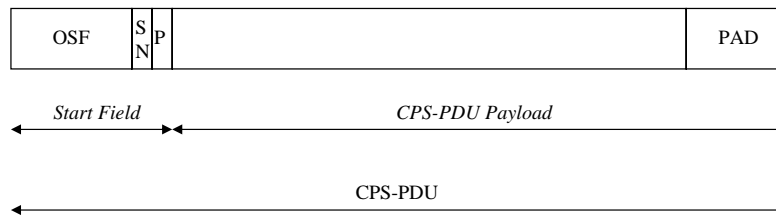
- As funções do protocolo AAL2 organizam-se em duas sub-camadas
  - *Service Specific Convergence Sublayer* (pode ser nula)
  - *Common Part Sublayer* (CPS)

AAL2 – funções

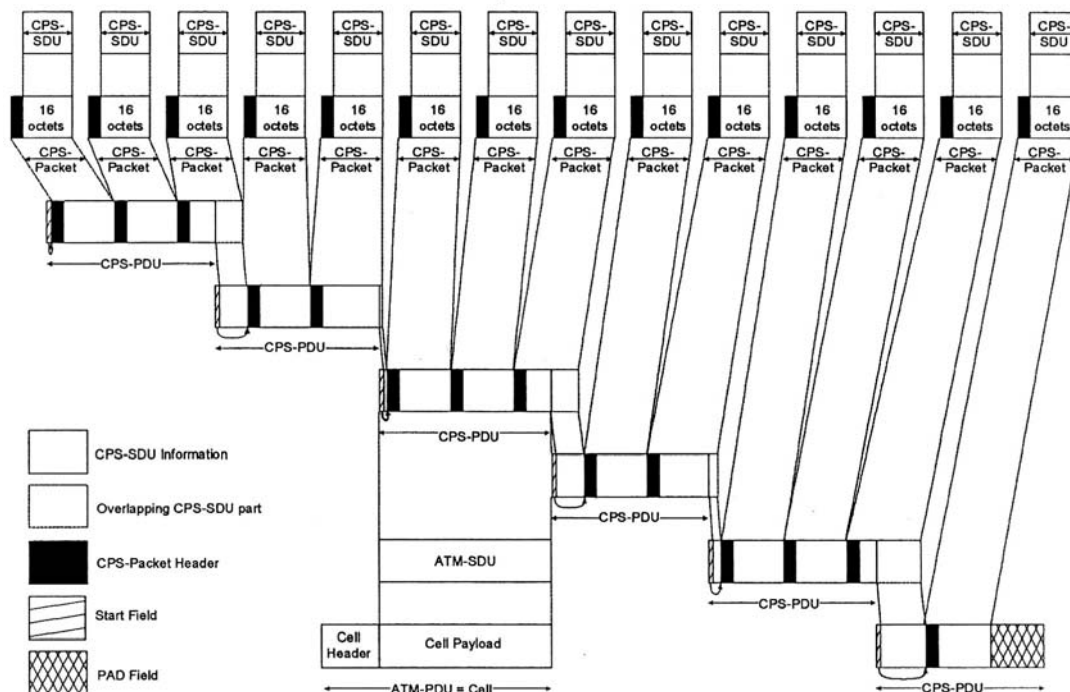
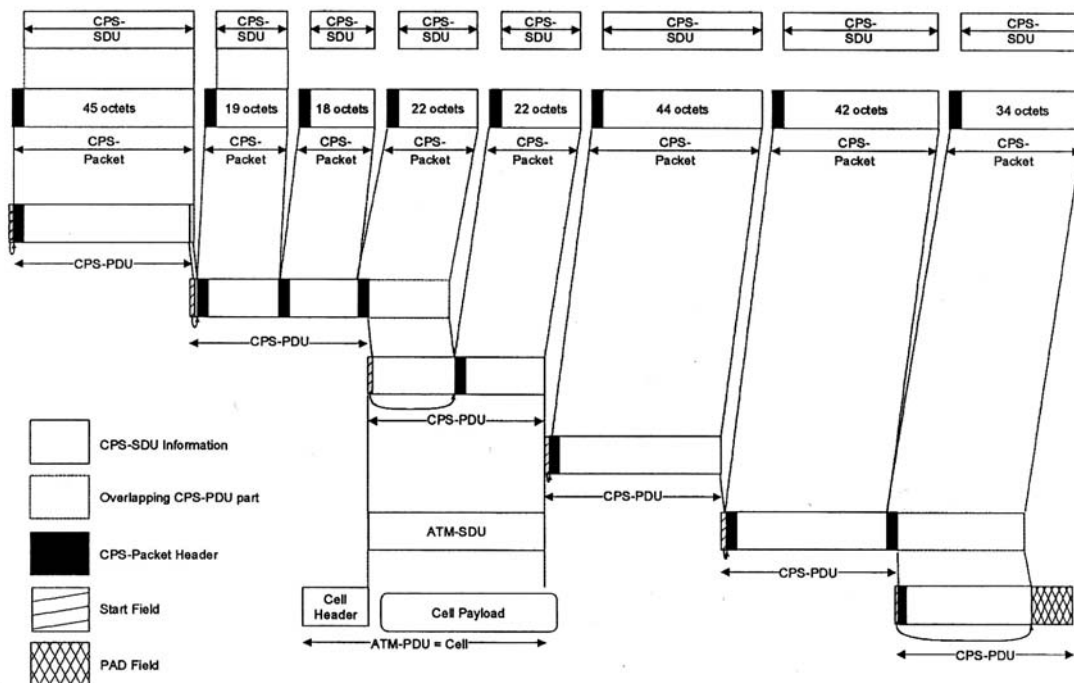
- Funções do CPS
  - O CPS-SDU tem comprimento variável; o valor máximo por omissão é 45 octetos (valor máximo opcional: 64 octetos)
  - Um *CPS-Packet* forma-se acrescentando ao CPS-SDU um cabeçalho com três octetos
    - O cabeçalho identifica o canal (conexão AAL) a que pertence o *CPS-Packet*
  - *CPS-Packets* sucessivos (da mesma ou de diferentes conexões AAL) são multiplexados e mapeados no *payload* de CPS-PDUs
    - Um CPS-PDU é constituído por um cabeçalho com um octeto e um *payload* com 47 octetos, ocupando portanto o *payload* de uma célula ATM
    - O *payload* de um CPS-PDU pode transportar zero, um ou mais *CPS-Packets* (parciais ou completos); o *payload* pode ser completado com *padding*
    - Um *CPS-Packet* pode distribuir-se por mais do que uma célula

AAL2 – CPS-Packet

CID	*Channel Identifier*	8 bits
LI	*Length Indicator*	6 bits
UUI	*User-to-User Indication*	5 bits
HEC	*Header Error Control*	5 bits
CPS-INFO	*Information*	1...45/64 octetos

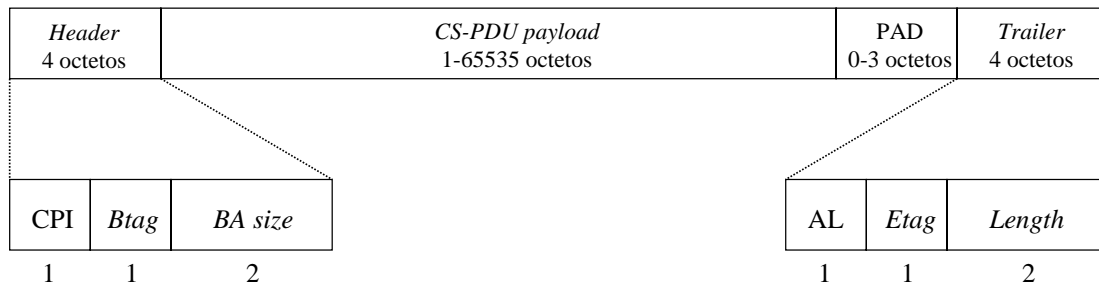
- O campo LI é codificado com um vlaor binário igual ao número de octetos transportados no *payload* do *CPS-Packet* (CPS-SDU / CPS-INFO) menos 1

AAL2 – CPS-PDU

OSF	*Offset Field*	6 bits
SN	*Sequence Number*	1 bit
P	*Parity*	1 bit
PAD	*Padding*	0...46 octetos

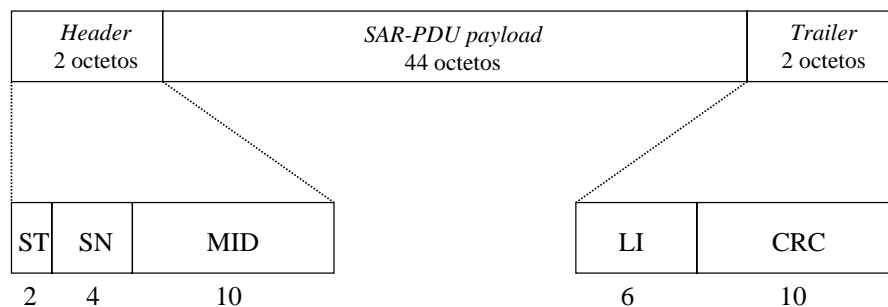
- O valor de OSF indica a posição do primeiro *CPS-Packet* que se inicia no CPS-PDU ou, na sua ausência, o início do campo PAD
  - O *offest* é medido em octetos em relação ao fim do *Start Field*
  - O valor 47 indica que não se verifica nenhum dos casos indicados

AAL2 – exemplo 1

AAL2 – exemplo 2

AAL3/4 – funções

- Encapsulamento de pacotes de dados de comprimento variável (de protocolos orientados à conexão ou sem conexão) em CS-PDUs (tramas AAL3/4)
  - AAL3 foi inicialmente previsto para protocolos orientados à conexão e AAL4 para protocolos sem conexão
- Fragmentação de tramas AAL3/4 e respectivo mapeamento no *payload* de SAR-PDUs, com preservação da integridade das tramas AAL3/4 e manutenção da sua sequência numa conexão SAR
- Transmissão concorrente de tramas AAL3/4 na mesma conexão ATM
  - Permite multiplexar SAR-PDUs de diferentes pacotes numa conexão ATM
  - Esta característica pode ser explorada em serviços sem conexão, em que diferentes fluxos de pacotes partilham uma conexão ATM
- Detecção de erros nos SAR-PDUs

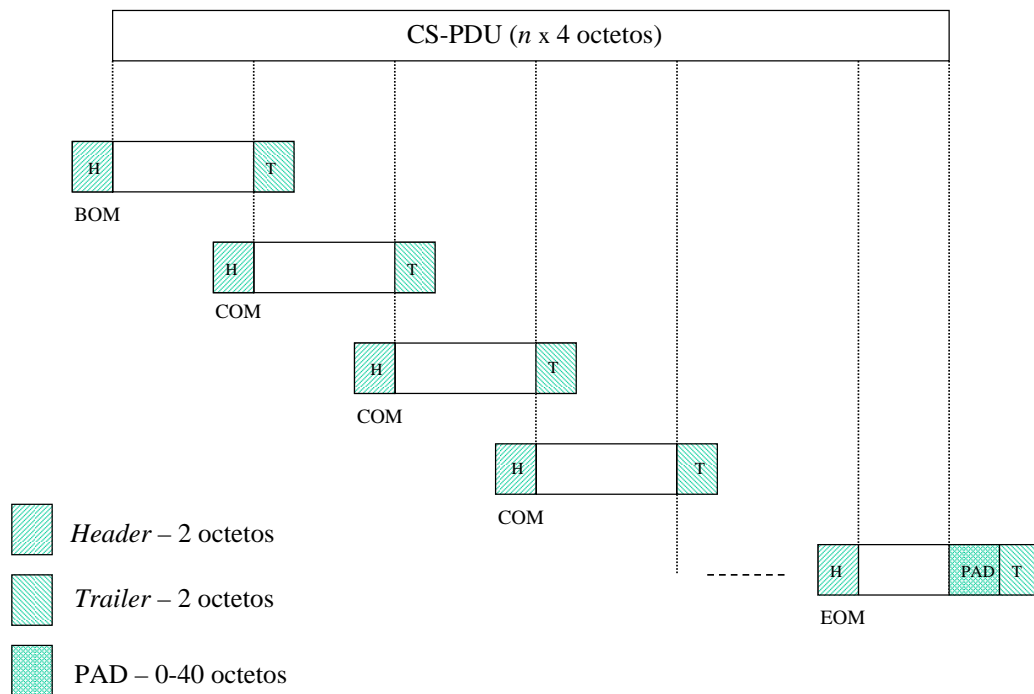
AAL3/4 – CS-PDU

O tamanho do CS-PDU é múltiplo de 4 octetos, pelo que está previsto um campo de *padding* com um máximo de 3 octetos

- CPI — *Common Part Indicator* – permite redefinir o significado do cabeçalho por conexão; o valor zero atribui aos restantes campos o significado descrito a seguir
- *Btag, Etag* — Etiquetas que têm o mesmo valor em cada CS-PDU, permitindo associar o *heade*r e o *trailer* de cada pacote; o valor é incrementado por cada novo pacote
- *BA size* — *Buffer Allocation size* – número máximo de octetos necessários para armazenar o pacote
- AL — *Alignment* – octeto de zeros para garantir que o tamanho do *trailer* é 4 octetos
- *Length* — Número de octetos de dados enviados, excluindo PAD (inferior ou igual a *BA size*)

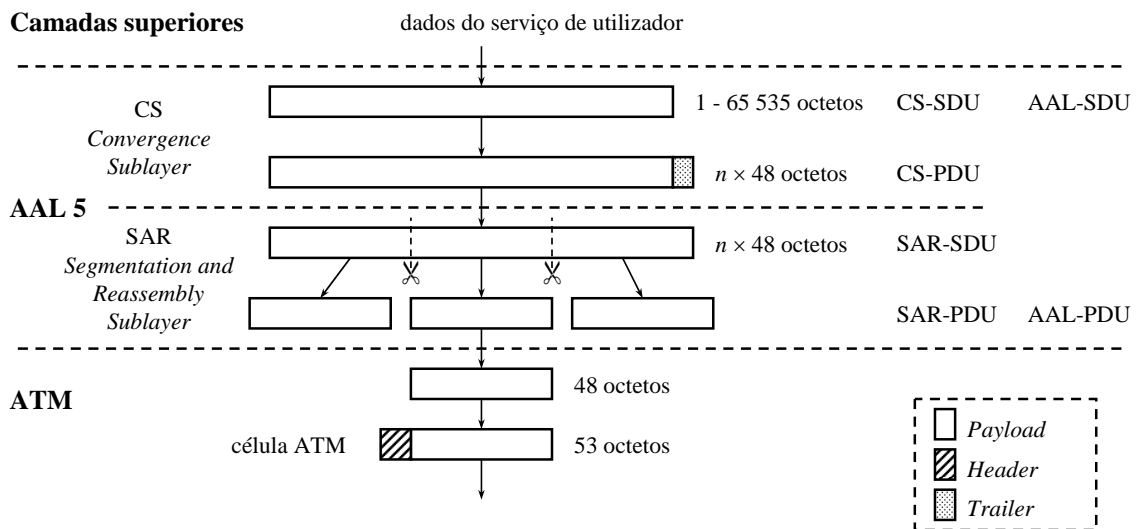
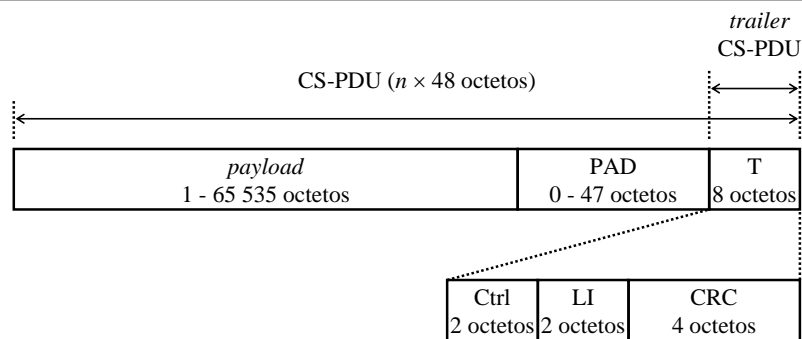
AAL3/4 – SAR-PDU

- ST *Segment Type*

BOM	10	*Beginning of Message*
COM	00	*Continuation of Message*
EOM	01	*End of Message*
SSM	11	*Single Segment Message* (combina BOM e EOM)

- SN *Sequence Number* – numeração sequencial dos fragmentos (SAR-PDU) de cada pacote
- MID *Multiplexing Identification* – identificador comum a todos os fragmentos do mesmo pacote; permite intercalar fragmentos de diferentes pacotes na mesma conexão ATM
- LI *Length Indication* – número de octetos de dados no *payload* (pode ser inferior a 44 em segmentos SSM e EOM, o que requer *padding*)
- CRC *Cyclic Redundance Check* – código com capacidade de correcção de erros simples polinómio gerador: $x^{10} + x^9 + x^5 + x^4 + x + 1$

AAL3/4 – segmentação e reassemblagem

AAL5 – funções

- A complexidade e *overhead* do AAL3/4 justificaram a especificação dum protocolo mais simples e mais eficiente (AAL5), embora sacrificando algumas funções
  - Não existe detecção de erros nos SAR-PDUs mas apenas no CS-PDU
  - Não existe a possibilidade de multiplexar fragmentos de diferentes pacotes na mesma conexão ATM (isto é, só é possível a multiplexagem a nível de tramas AAL5 numa conexão ATM)
- O único *overhead* consiste na adição dum *trailer* ao pacote (CS-SDU) submetido ao AAL5 e um eventual *padding* para garantir que a trama AAL5 (CS-PDU) tem um comprimento múltiplo de 48 octetos
  - Não existe qualquer *overhead* nos SAR-PDUs
- A delineação dum CS-PDU é realizada com recurso ao bit 2 do campo PT (*Payload Type*) no cabeçalho das células ATM
  - Este bit assume o valor 1 na célula que contém o último SAR-PDU de uma trama AAL5

AAL5 – operação

AAL5 – CS-PDU

T	*Trailer*	Ctrl LI CRC	*Control* *Length Indicator* *Cyclic Redundancy Check*	funções de controlo comprimento do campo de carga, excluindo PAD protege os campos restantes
PAD	*Padding*	preenchimento variável, de modo que o total de octetos de CS-PDU seja múltiplo de 48		

O campo de controlo (Ctrl) divide-se em

- UUI – *User-to-User Information* (um octeto)
- CPI – *Common Part Indicator* (um octeto), para interpretação dos restantes campos do *trailer*

Sinalização ATM – princípios

- Capacidades de sinalização requeridas
  - Suporte da função de controlo de admissão de conexões (CAC)
    - Estabelecimento de conexões de canal virtual (VCC)
    - Estabelecimento de conexões de caminho virtual (VPC) – túneis VP
  - (Re)negociação de atributos duma conexão
    - Parâmetros de tráfego e de Qualidade de Serviço
  - Suporte de chamadas com múltiplas conexões
    - Possibilidade de remover uma ou mais conexões durante a chamada
    - Possibilidade de adicionar conexões à chamada em curso
  - Suporte de chamadas *multiparty*
    - Estabelecimento e terminação de conexões envolvendo mais do que dois *endpoints*
    - Adição e remoção de parceiro(s) durante a chamada
  - Suporte de diversas configurações
    - Unidireccional / bidireccional
    - Simétrico / assimétrico
    - Ponto-a-ponto / ponto-a-multiponto
  - Interfuncionamento com outras redes

Canais virtuais de sinalização

- Ponto-a-ponto
  - Suporta sinalização entre entidades de sinalização
  - Bidireccional, com o mesmo VPI/VCI em cada sentido
  - Pré-definido ou atribuído por procedimentos de meta-sinalização
    - Valor pré-definido: VPI = 0 VCI = 5
- Meta-sinalização
  - Gere os canais virtuais de sinalização no respectivo VP
    - Gere a atribuição de recursos a canais de sinalização
    - Estabelece, liberta e verifica o estado de canais de sinalização
  - Bidireccional e pré-definido para cada VP
    - Gestão de canais de sinalização para a central local: VPI = 0 VCI = 1
    - Gestão de canais de sinalização de outras entidades: VPI $\neq$ 0 VCI = 1
- Difusão (*Broadcast*)
  - Unidireccional (rede → utilizador)
  - Permite enviar mensagens de sinalização a todos os *endpoints* de sinalização ou a um grupo seleccionado
    - *General Broadcast* (existe sempre): VPI = 0 VCI = 2
    - *Selective Broadcast* (opcional)

SAAL – Signalling ATM Adaptation Layer

- Funções
  - Gestão de conexões da camada AAL
    - Estabelecimento, libertação e resincronização de conexões SSCOP (*Service Specific Connection Oriented Protocol*, parte integrante do *Service Specific Convergence Sublayer*)
  - Mapeamento das mensagens em PDUs da camada AAL
    - Baseado em AAL5
  - Reordenação de PDUs
  - Correcção de erros por retransmissão selectiva
  - Controlo de fluxo
  - Indicação de erros ao plano de gestão
  - Segmentação e reassemblagem de PDUs em blocos de 48 octetos|